

Дослідження та методи аналізу

бурильної колони. Показано, що модель бурильної колони у випадку широкосмугового збурення можна розглядати як ряд осциляторів з різними характеристиками, паралельно підключених до навантаження, наприклад, від зубкових коливань. Ці положення можна поширити на круті коливання, а при більш детальному аналізі розгляд цих питань (на основі отриманих записів поперечних коливань) дає можливість уточнити динамічні схеми бурильної колони.

Література

- 1 Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. – М.: Госстройиздат. 1961. – 365 с.
- 2 Болотин В.В. Применение методов теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1971. – 255 с.
- 3 Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1974. – 255 с.

УДК 658.562

АНАЛІЗ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РІЗЬБОВОЇ ЧАСТИНИ НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ

М.А.Кононенко, С.С.Семенюк, Н.Я.Габльовська, Т.І.Луцишин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42141, 41166,

e-mail: public@nuing.edu.ua

Київський національний університет технологій та дизайну,

м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, тел. (044) 280056.

Проведен анализ результатов экспертного и расчетного метода оценивания качественных показателей насосно-компрессорных труб и за значениями коэффициентов весомости установлена приоритетность геометрических параметров резьбы как наиболее изнашивающегося узла/

The analysis of expert and calculation method results of pump-compressor pipes high-quality indexes evaluation is done and after the coefficients values the ponderability priority of geometrical parameters of, as a knot that wears out quick all, are set

У сучасному нафтовидобуванні простежується тенденція до збільшення об'ємів робіт, пов'язаних із вторинними методами дії на пласт, інтенсифікації видобутку нафти, підземним і капітальним ремонтом свердловин. При цьому змінюються режими експлуатації свердловинного обладнання, в тому числі і трубних колон. Значно зросли обсяги робіт, пов'язаних із проведенням спуско-підймальних операцій. За таких умов дуже гостро постає питання забезпечення надійності найбільш "аварійного" вузла свердловинного обладнання – насосно-компресорних труб (НКТ). Так, відомо, що кількість аварій з насосно-компресорними трубами при освоєнні окремих родовищ сягає 80% від загальної кількості аварій свердловинного обладнання. Це спричиняє втрату обладнання високої вартості, аж до переведення свердловин у фонд ліквідованих за технічними причинами. Основні відомі шляхи зниження аварійності — контроль якості виготовлення трубної продукції на підприємствах-виробниках на відповідність вимогам нормативно-технічної документації; дотримання правил транспортування, складування і зберігання; відповідність обраної трубної продукції конкретним умовам експлуатації та інше.

Без дотримання першої складової перелічених заходів наступні втрачають сенс [1].

Отже, забезпечення експлуатаційної надійності НКТ слід починати з визначення найбільш вагомих показників якості та методів їх контролю безпосередньо після випуску труб з виробництва чи ремонту.

Для отримання комплексної оцінки якості на даний час використовують дві групи методів: експертні і розрахункові.

Вихідною інформацією для експертної оцінки якості труб НКТ може бути тільки виробнича статистика, виходячи з якої спеціально відібрані експерти (за умови їх високої компетентності) даватимуть реальну оцінку надійності трубної продукції й рангувати показники, що визначають її якість.

Експертним методом оцінювання якості труб НКТ присвячено низку робіт [2, 3, 4], автори яких піддають детальному аналізу функції, які виконує колона НКТ, види навантажень, що діють на колону, та вимоги вітчизняної та закордонної нормативної документації на насосно-компресорні труби.

Колона НКТ виконує такі основні функції: забезпечує подачу з пластів нафти та газу, що видобувають;

забезпечує закачування технологічних агентів для гідророзриву, глушіння свердловини та інтенсифікації видобутку;

Таблиця 1 – Оцінки вагомості за видами відмов НКТ

№	Види відмов	Підсумкова оцінка експертної групи, %
1	Відмови різьбового з'єднання	50
1.1	Руйнування	34
1.2	Втрата герметичності	12
1.3	З'єднання не згвинчується – критичне значення натягу і геометричних параметрів профілю	43
1.4	З'єднання не розгвинчується – "прихоплення" різьби	11
2	Відмови по тілу труби	12
2.1	Руйнування	39
2.2	Втрата герметичності	32
2.3	Зміна геометрії	29
2.3.1	Подовження	15
2.3.2	Згин	26
2.3.3	Зміна товщини стінки, в тому числі під різьбою	31
2.3.4	Зміна зовнішнього діаметра	29
4	Руйнування по тілу муфти	11
5	Обриви підвісного патрубка або перехідника	6
6	Відкладення смол, парафіну тощо	11
7	Інші відмови	10

надає можливість проведення перфوراції експлуатаційної колони;

ізолює експлуатаційну колону від дії флюїду, що подається чи вилучається з пласта;

застосовується для заміни бурового розчину на воду (газ) при освоєнні свердловини;

утримує свердловинні насоси і струмопроводи;

застосовується для проведення робіт при поточному та капітальному ремонтах свердловин тощо.

Дія чинників, які впливають на роботу колони НКТ, проведення різних робіт у свердловині й зумовлюють характер діючих навантажень на НКТ різноманітна. На колону НКТ діють як статичні, так і змінні навантаження. Основне статичне навантаження – власна вага колони. Також на колону НКТ діють надлишкові зовнішні та внутрішні (стискаючі, згинаючі і пульсуючі) навантаження. Численні навантаження призводять до відмов елементів НКТ з різними за важкістю наслідками.

У вітчизняному нафтогазовидобуванні переважну кількість НКТ, що експлуатуються, складають труби різних груп міцності з конічною різьбою трикутного профілю. Частка НКТ з іншими типами різьбових з'єднань є незначною. Більшість НКТ, які виготовляються закордоном, відрізняються за конструкцією, експлуатаційними характеристиками, вимогами до чистоти металу та ін. від НКТ, які виготовляються на підприємствах СНГ згідно з ГОСТ 633-80 [5]. Тому експертну оцінку якості труб НКТ слід проводити із врахуванням специфіки

експлуатації труб у вітчизняному нафтовидобуванні. Це дозволить визначити, на які саме вимоги (експлуатаційні, конструктивні чи інші) необхідно звернути увагу при розробці рекомендацій щодо забезпечення надійності та довговічності даного виду свердловинного обладнання.

Порядок проведення та результати експертної оцінки якісних показників НКТ викладені у роботі [6]. До складу експертної групи були включені спеціалісти таких закордонних фірм як "Буровая техника", "Нефтепромдиагностика", "Самаранефтегаз", а також науковий персонал РДУ нафти і газу ім. І.М. Губкіна (м. Москва).

В результаті опитування та анкетування експертів було одержано значний інформаційний масив, з яким виконувалась подальша робота з встановлення пріоритетних чинників, що впливають на якісні показники НКТ.

На першому етапі експертної оцінки якісних показників труб НКТ було встановлено основні види відмов НКТ та було оцінено у процентному відношенні частоту відмов по кожній позиції, за умови, що для кожної групи відмов сумарна оцінка має складати 100%. Отримані результати наведено у таблиці 1.

Отже, з наведених даних можна зробити висновок, що найбільшу вагу серед вказаних видів відмов мають відмови різьбових з'єднань.

На наступному етапі досліджень, за аналогією до першого етапу, було оцінено вагомості причин відмов різьбових з'єднань НКТ [6]. Одержані результати наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Оцінки вагомості причин відмов різьбових з'єднань НКТ

№	Причина відмов	Підсумкова оцінка експертної групи, %
1	Зношування	35
2	Корозія	25
3	Порушення технології спуско-підймальних операцій	22
3.1	Перевищення навантаження	14
3.1.1	При зриванні пакера	15
3.1.2	Через прихоплення	26
3.1.3	При опресуванні	33
3.1.4	При розходжуванні	26
3.2	Згвинчування різьби з недопустимими моментами	16
3.3	Згвинчування з перекошенням	9
3.4	Порушення центрування підйомника	10
3.5	Пошкодження витків різьби (при посадці ніпеля в муфту)	29
3.6	Згвинчування неочищених з'єднань, відсутність або невідповідність мастил	22
4	Інші	18
4.1	Заводський брак, низька якість металу	24
4.2	Перекошування муфт при ремонті	9
4.3	Неправильне компонування колони НКТ	12
4.4	Порушення інших регламентованих умов експлуатації НКТ	31
4.5	Пошкодження в результаті порушень вимог до завантажувально-розвантажувальних робіт, транспортування	24

На даному етапі досліджень було виявлено, що основними причинами виникнення відмов різьбових з'єднань НКТ є зношування, корозія і порушення технології експлуатації труб.

Зношування різьбових з'єднань НКТ характеризується зміною початкових геометричних параметрів різьби, втратою нормального спряження її витків, появою задирів і заїдань на поверхні різьби, що в подальшому призводить до значних змін натягу, втрати герметичності, обриву різьби в з'єднанні [7].

Отже, виходячи з аналізу одержаних результатів експертних оцінок якості труб НКТ, які виготовляються згідно з ГОСТ 633-80 [5], на наступному етапі досліджень постає задача визначення пріоритетності геометричних параметрів ніпельної та муфтової різьб НКТ для забезпечення якості різьбового з'єднання в цілому. Дану задачу можна вирішити, застосовуючи розрахункові методи.

Групу розрахункових методів визначення комплексного показника якості можна розділити на дві підгрупи. Першу складають методи, які базуються на ретельному аналізі показників якості з метою встановлення залежності між цими показниками з подальшим визначенням групового показника або показника виробу загалом, тобто узагальненого показника. Другу групу складають методи, які базуються на зведенні воедино оцінок окремих показників чи використанні найважливішого показника (голо-

вного одиничного показника). У зв'язку з тим, що різні властивості виробу відіграють різну роль у формуванні якості виробів в цілому, найбільш розповсюдженою для одержання комплексної оцінки є середньозважена форма оцінки. Визначивши коефіцієнти вагомості показників якості продукції, можна обґрунтувати вибір найбільш інформативних показників якості продукції (в даному випадку різьби НКТ) та встановити часову черговість вимірювання визначених показників якості.

Для аналізу якісних показників різьбової частини труб НКТ обрано гладкі труби з умовним діаметром 73 мм, товщиною стінки 5,5 мм (різьба трикутного профілю, група міцності Д). Вибір даного типорозміру зумовлено застосуванням даних труб в переважній більшості свердловинного обладнання промислової експлуатації.

Вимоги, які ставляться під час виготовлення трубних різьб НКТ згідно з ГОСТ 633-80 наведено в таблицях 3, 4.

Для визначення вагових коефіцієнтів показників якості геометричних параметрів різьби НКТ необхідно скористатися методом граничних і номінальних вимірюваних значень параметрів.

В математичній постановці рівень якості будь-якого продукту (в даному випадку різьби НКТ) можна розглядати як векторну величину, компоненти якої відображають певні вимірювані властивості продукту. Через залежність

Таблиця 3 – Вимоги, які ставляться до різьби ніпельної частини НКТ

№ п/п	Параметри різьбової частини труби, що контролюються	ГОСТ 633-80
1	Зовнішній діаметр, мм	$73 \pm 0,8$ (72,2÷73,8)
2	Товщина стінки, мм	5,5-12,5% (min 4,81)
3	Товщина стінки під різьбою в площині торця труби, мм	min 2
4	Загальна довжина різьби, мм	$53 \pm 2,5$ (50,5÷55,5)
5	Збіг різьби, мм	max 8
6	Кут зовнішньої фаски	$65^{\circ} \pm 5^{\circ}$ (65°÷70°)
7	Кут внутрішньої фаски	$60^{\circ} \pm 5^{\circ}$ (55°÷65°)
8	Глибина внутрішньої фаски	$1 \pm 0,5$ (0,5°÷1,5°)
9	Відстань від торця труби до ниток з черновинами, мм	min 32,8
10	Відхилення конусності різьби, мм	+0,36 -0,22
11	Крок різьби, мм	$2,540 \pm 0,120$ (2,420÷2,660)
12	Висота профілю різьби, мм	$1,412^{+0,05}_{-0,10}$ (1,312÷1,462)
13	Кут нахилу бокових сторін профілю різьби	$30^{\circ} \pm 1^{\circ}$ (29°÷31°)
14	Натяг різьби, мм	$2,5 \pm 2,5$ (0÷5,0)

Таблиця 4 – Вимоги, які ставляться до різьб муфт НКТ

№ п/п	Параметри різьби муфт, що контролюються	ГОСТ 633-80
1	Зовнішній діаметр, мм	$88,9 \pm 1,0\%$ (88,01÷88,79)
2	Довжина, мм	$132,0 \pm 2,0$ (130,0÷134,0)
3	Діаметр циліндричної виточки муфти, мм	$74,6 \pm 0,8$ (74,6÷75,4)
4	Глибина циліндричної виточки муфти, мм	$8,0^{+1,5}_{-0,5}$ (7,5÷9,5)
5	Ширина торцевої площини муфти, мм	5,5
6	Кут зовнішньої фаски	$35^{\circ} \pm 5^{\circ}$ (30°÷40°)
7	Ширина зовнішньої фаски, мм	1
8	Кут переходу від циліндричної виточки муфти до різьби	$25^{\circ} \pm 5^{\circ}$ (20°÷30°)
9	Крок різьби	$2,540 \pm 0,120$ (2,420÷2,660)
10	Висота профілю різьби, мм	$1,412^{+0,05}_{-0,10}$ (1,312÷1,462)
11	Кут нахилу бокових сторін профілю різьби	$30^{\circ} \pm 1^{\circ}$ (29°÷31°)
12	Натяг різьби муфти, мм	$5,0 \pm 2,5$ (2,5÷7,5)
13	Відхилення конусності різьби, мм	+0,22 -0,36

вимірюваних властивостей продукту від багатьох чинників значення досліджуваних властивостей передбачити заздалегідь неможливо, тому їх слід розглядати як випадкові величини.

Для визначення вагомості одиничних показників якості досліджувались дані вхідного контролю зразків НКТ з умовним діаметром 73 мм, товщиною стінки 5,5 мм (різьба трикутного профілю, група міцності Д) у кількості 70 шт.

Якщо розглядати таку кількість випадкових величин, які мають граничні дисперсії, тоді практично достовірно можна враховувати, що відхилення середнього арифметичного випадкових величин від середнього арифметичного їх математичних очікувань за абсолютною величиною є достатньо малим. Це дозволило б обґрунтовано використати співвідношення [8]

$$J = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n},$$

для визначення комплексного показника якості продукції.

В комплексному показнику якості одержаному як середнє арифметичне значення одиничних показників якості необхідно встановити пріоритетність окремих показників, які визначаються за їх ваговою часткою в загальній сумі. В цьому випадку комплексний показник якості буде визначатися співвідношенням:

$$J = \sum_{j=1}^n \alpha_j X_j,$$

де α_j – коефіцієнт вагомості j -го показника якості.

Будемо вважати, що комплексний показник є лінійною комбінацією середніх одиничних показників якості:

$$J = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_n X_n.$$

причому $\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1$.

Вважаючи незалежними X_j можна визначити дисперсію комплексного показника як [9]:

$$\sigma_J^2 = \alpha_1^2 \sigma_1^2 + \alpha_2^2 \sigma_2^2 + \dots + \alpha_n^2 \sigma_n^2$$

Отже, для визначення коефіцієнтів вагомості α_j визначаємо σ_J^2 із співвідношення:

$$\sigma_J^2 = 1 / \sum_{j=1}^n \frac{1}{\sigma_j^2}.$$

А значення α_j знаходяться як:

$$\alpha_j = \sigma_J^2 / \sigma_j^2.$$

За викладеною методикою визначалися коефіцієнти вагомості одиничних показників якості геометричних параметрів різьб ніпельної частини та муфт НКТ. Основні одиничні показники якості різьби ніпельної частини НКТ: X_1 – зовнішній діаметр труби; X_2 – товщина стінки; X_3 – довжина різьби; X_4 – кут зовнішньої фаски; X_5 – глибина внутрішньої фаски; X_6 – відхилення конусності різьби; X_7 – крок різьби; X_8 –

висота профілю різьби; X_9 – кут нахилу бокових сторін; X_{10} – натяг різьби. Дисперсії одиничних показників складають:

$$\sigma_{X_1}^2 = 0,116404; \sigma_{X_2}^2 = 0,019707;$$

$$\sigma_{X_3}^2 = 0,656439; \sigma_{X_4}^2 = 0,006232;$$

$$\sigma_{X_5}^2 = 0,162788; \sigma_{X_6}^2 = 0,0132729;$$

$$\sigma_{X_7}^2 = 0,000002; \sigma_{X_8}^2 = 0,000004;$$

$$\sigma_{X_9}^2 = 0,457861; \sigma_{X_{10}}^2 = 0,545496.$$

Дисперсія комплексного показника якості ніпельної частини різьби НКТ в цьому випадку буде дорівнювати: $\sigma_J^2 = 0,00000112426$.

Звідси, коефіцієнти вагомості досліджуваних показників ніпеля дорівнюють:

$$\alpha_1 = 0,000009658; \alpha_2 = 0,000057048;$$

$$\alpha_3 = 0,0000017127; \alpha_4 = 0,000180404;$$

$$\alpha_5 = 0,000006906; \alpha_6 = 0,0000343505;$$

$$\alpha_7 = 0,680471745; \alpha_8 = 0,319233658;$$

$$\alpha_9 = 0,000002455; \alpha_{10} = 0,00000206098.$$

Основні одиничні показники якості різьби муфт НКТ: X_1 – зовнішній діаметр муфти; X_2 – довжина муфти; X_3 – діаметр циліндричної виточки муфти; X_4 – глибина циліндричної виточки муфти; X_5 – ширина торцевої площини муфти; X_6 – кут зовнішньої фаски; X_7 – ширина зовнішньої фаски; X_8 – кут переходу від циліндричної виточки муфти до різьби; X_9 – кут різьби; X_{10} – висота профілю різьби муфти; X_{11} – кут нахилу бокових сторін профілю різьби; X_{12} – натяг різьби муфти; X_{13} – відхилення конусності різьби. Дисперсії одиничних показників складають:

$$\sigma_{X_1}^2 = 0,23645; \sigma_{X_2}^2 = 0,305;$$

$$\sigma_{X_3}^2 = 0,121235; \sigma_{X_4}^2 = 0,225232;$$

$$\sigma_{X_5}^2 = 0,43278; \sigma_{X_6}^2 = 0,63645;$$

$$\sigma_{X_7}^2 = 0,292933; \sigma_{X_8}^2 = 0,86255;$$

$$\sigma_{X_9}^2 = 0,0000145; \sigma_{X_{10}}^2 = 0,000091;$$

$$\sigma_{X_{11}}^2 = 0,81685; \sigma_{X_{12}}^2 = 2,37; \sigma_{X_{13}}^2 = 0,0466.$$

Дисперсія комплексного показника якості різьби муфт НКТ в цьому випадку буде дорівнювати: $\sigma_J^2 = 0,000012499$.

Звідси, коефіцієнти вагомості досліджуваних показників муфт дорівнюють:

$$\alpha_1 = 0,0000528611; \alpha_2 = 0,0000409803;$$

$$\alpha_3 = 0,00014158; \alpha_4 = 0,0000555511;$$

$$\alpha_5 = 0,0000290674; \alpha_6 = 0,0000196386;$$

$$\alpha_7 = 0,292933; \alpha_8 = 0,0000144908;$$

$$\alpha_9 = 0,862000122; \alpha_{10} = 0,137351668;$$

$$\alpha_{11} = 0,0000153015; \alpha_{12} = 0,00000527384;$$

$$\alpha_{13} = 0,000268219.$$

Отже, враховуючи одержані розрахункові дані можна встановити таку пріоритетність показників якості різьби ніпельної частини НКТ: крок різьби; висота профілю різьби; кут зовнішньої фаски; товщина стінки; відхилення конусності різьби; зовнішній діаметр труби; глибина внутрішньої фаски; кут нахилу бокових сторін; натяг різьби; довжина різьби. А також пріоритетність показників якості різьби муфт НКТ: кут різьби; ширина зовнішньої фаски; висота профілю різьби муфти; відхилення конусності різьби; діаметр циліндричної виточки муфти; глибина циліндричної виточки муфти; зовнішній діаметр муфти; довжина муфти; ширина торцевої площини муфти; кут зовнішньої фаски; кут нахилу бокових сторін профілю різьби; кут переходу від циліндричної виточки муфти до різьби; натяг різьби муфти.

На даному етапі досліджень виявлено, що найбільш відповідальним за надійність та зносостійкість колон НКТ елементом є різьбове з'єднання. За допомогою розрахункового методу визначено коефіцієнти вагомості показників якості різьби та встановлено пріоритетні геометричні параметри різьби ніпельної частини та муфт насосно-компресорних труб. У зв'язку з цим доцільним є проведення подальших досліджень динаміки зміни пріоритетних параметрів різьби НКТ залежно від кількості циклів їх згвинчування-розгвинчування, що дасть змогу розробити рекомендації щодо вдосконалення методів випробувань насосно-компресорних труб та періодичності їх контролю.

Література

- 1 Гуляев Ю.Г., Друян В.М., Шифрин Е.И. Стальные трубы. Изготовление, применение, сортамент: Справочник. — Днепропетровск, РИА "Днепр-ВАЛ", 2002. — 350 с.
- 2 Методы квалитметрии в машиностроении / Под ред. Кершенбаума В.Я., Хвастунова Р.М. — М.: Технонефтегаз, 1999. — 321 с.
- 3 Поликарпов М.П. Отечественное будет лучшим! К вопросу актуализации ГОСТ 633-80 на насосно-компрессорные трубы // Надёжность и сертификация оборудования для нефти и газа. — 2001. — №2.
- 4 Хвастунов Р.М. Экспертные методы квалитметрии. — М.: Наука, 1998. — 218 с.
- 5 Поликарпов М.П. Совершенствование нормативной базы характеристик эксплуатационной долговечности насосно-компрессорных труб: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / РГУ им. И.М.Губкина. — М., 2001. — 22 с.
- 6 ГОСТ 633-80. Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия.
- 7 Копей Б.В., Кіндрачук С.М. Аналіз надійності НКТ в свердловинах з обводненою продукцією / ІФДТУНГ. — Івано-Франківськ, 1995. — 11 с. — Деп. в ДНТБ України 25.11.95 — №2492-Ук95.
- 8 Погочев И.Б. Методы комплексной оценки качества продукции. — М.: Знание, 1971. — 40 с.
- 9 Затолокин В.М. Методы анализа качества продукции. — М.: Финансы и статистика, 1985. — 214 с.

Міжнародна конференція ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ТЕХНОЛОГІЇ — У ТРЕТЄ ТИСЯЧОЛІТТЯ

м. Київ

(24 – 26 листопада 2007 р.)

Оргкомітет конференції

Інститут електрозварювання
ім. Є.О.Патона НАН України
03680, м. Київ, вул. Боженка, 11

office@paton.kiev.ua

http://www.iaw.com.ua

тел. (044) 528 04 86

Наукові напрямки конференції:

- ☑ Технології, матеріали, обладнання для зварювання, пайки, наплавлення й різання
- ☑ Міцність зварних з'єднань і конструкцій, теоретичні й експериментальні дослідження напружено-деформованих станів, способи регулювання зварювальних напруг і деформацій
- ☑ Математичні методи моделювання зварювальних процесів
- ☑ Неруйнівний контроль і технічна діагностика, оцінка й подовження ресурсу безпечної експлуатації зварних конструкцій
- ☑ Сучасні технології, матеріали й обладнання для нанесення покриттів
- ☑ Перспективні напрямки спеціальної електрометалургії
- ☑ Екологічні проблеми в галузі зварювання й споріднених технологій
- ☑ Підготовка й атестація фахівців, стандартизація та сертифікація зварювального виробництва